

УДК: 66.097.3

UDC: 66.097.3

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СЖИГАНИЯ БИОГЕННЫХ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ЛЕСНОГО И АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСОВ

PERFORMANCE CRITERIA OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS BASED ON CATALYTIC COMBUSTION DEVICE BIOGENIC LIQUID AND GASEOUS FUELS FOR HEAT VARIOUS PRODUCTION FACILITIES OF AGRICULTURE AND FORESTRY COMPLEX

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент

Onychin Evgeniy Mikhailovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Медяков Андрей Андреевич
к.т.н.

Medyakov Andrei Andreevich
Cand.Tech.Sci.

Анисимов Павел Николаевич
аспирант

Anisimov Pavel Nikolaevich
postgraduate student

Каменских Александр Дмитриевич
аспирант

Kamenskih Aleksandr Dmitrievich
postgraduate student

Осташенков Алексей Петрович
аспирант
Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

Ostashenkov Aleksey Petrovich
postgraduate student
Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola, Russia

В статье дана оценка энергетической эффективности технико-технологических систем на базе каталитических устройств сжигания биогенных жидких и газообразных топлив для теплоснабжения различных производственных объектов лесного и агропромышленного комплексов

The article assesses the energy efficiency of the technical and technological systems based on catalytic combustion systems nutrient liquid and gaseous fuels for heating various production facilities and agro-forestry systems

Ключевые слова: ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, ТЕПЛИЧНЫЙ КОМПЛЕКС, ЛЕСНОЙ КОМПЛЕКС, ПАСЕЧНЫЙ КОМПЛЕКС

Keywords: HEAT, EFFECTIVE OPERATION, LIVESTOCK FARMS GREENHOUSE COMPLEX, FOREST COMPLEX, COMPLEX PASECHNOYE

Введение

В настоящее время разработано много различных конструкций, а так же конструктивных решений на базе каталитических устройств сжигания биогенных жидких и газообразных топлив, позволяющие создать оптимальную температуру в различных производственных объектах лесного и агропромышленного комплексов [1-3].

Однако если при эксплуатации не учесть основные параметры функционирования и технологические параметры разработанных

каталитических устройств, то существует вероятность использования устройств не в оптимальном режиме, что в свою очередь приведет к неэффективному использованию и последующему отказу, как объекта теплоснабжения, так и самого каталитического устройства.

При определении критериев эффективности технико-технологической системы полученные результаты можно будет использовать совместно с разработанными ранее математическими моделями [4-9] для последующей оптимизации технологических и конструктивных параметров технико-технологической системы.

Под эффективностью технико-технологической системы на базе каталитического устройства сжигания биогенных топлив понимают характеристику уровня выполнения этой системой тех функций, для которых она предназначена. Так же под эффективностью понимают совокупность характеристик уровня выполнения ею поставленных задач, для которых она предназначена. Часто эффективность определяется, в конечном счете, производительностью, которую может обеспечить система.

Эффективность технико-технологической системы на базе каталитического устройства сжигания биогенных топлив определяется энергетическими параметрами, характеризующими эффективность производства и потребления энергии. К вышеназванным параметрам относятся коэффициент загрузки по номинальной мощности и материалоемкость технико-технологической системы.

Главной задачей статьи является определение зависимостей критериев эффективности для каждой системы теплоснабжения различных производственных объектов лесного и агропромышленного комплексов, от условий функционирования каждого объекта и в зависимости от конструктивных исполнений каждого комплекса в частности

Критерии эффективности системы теплоснабжения пасечного комплекса

Для оценки энергетической эффективности технико-технологической системы необходимо определить количество теплоты, которое нужно передать объекту теплоснабжения для поддержания нормируемого теплового режима с учетом наличия приточной и вытяжной вентиляции, осуществляющих контроль абсолютной влажности и концентрации углекислого газа внутри помещения для размещения ульев. Потребление тепловой энергии помещением для размещения ульев определяется наличием нескольких составляющих:

- тепловых потерь через стены, пол и потолок (при этом не учитываются потери тепловой энергии через окна ввиду их отсутствия, поскольку дневной свет оказывает негативное влияние на процесс зимовки);

- тепловых потерь, обусловленных наличием системы вентиляции;

- суммарных теплопоступлений от размещенных в зимовнике пчелиных семей.

Расчетная формула для определения тепловой мощности, необходимой для поддержания нормируемого температурного режима имеет вид:

$$P = c_B \rho M ((T - T_0)(z(v + u) + \delta) + \gamma(w - w_0) - p_B) \quad (1)$$

$$\text{где } p_B = \frac{P_B}{c_B \rho M}, \quad \gamma = \frac{2.25}{c_B \rho}, \quad \delta = \frac{\varepsilon}{c_B \rho}, \quad v = \frac{V}{M}, \quad u = \frac{U}{M}$$

P - мощность управляемого источника тепла;

c_B - теплоемкость сухого воздуха;

ρ - плотность сухого воздуха;

M - объем помещения;

T - температура внутри помещения;

T_0 - температура наружного воздуха;

U – воздухоподача вытяжных вентиляторов;

V - воздухоподача приточных вентиляторов;

ε – коэффициент теплопотерь через стены, пол, потолок помещения;

W – влагосодержание внутри помещения;

W_0 – влагосодержание наружного воздуха;

P_B - мощность неуправляемого источника тепла;

Формула для определения объема вентиляции по содержанию углекислоты, при условии равенства объемов приточного и вытяжного воздуха, имеет вид:

$$U = \frac{G_B}{(G - G_0)} \quad (2)$$

где G_B – суммарное количество углекислого газа, которое выделяют животные, л/ч;

G - допустимое количество углекислого газа в 1 м³ воздуха – 40 л/м³ или 4 %;

G_0 - количество углекислого газа в 1 м³ атмосферного воздуха – 0,3 л/м³ или 0,03 %.

Формула для определения объема вентиляции по влажности, при условии равенства объемов приточного и вытяжного воздуха, имеет вид:

$$U = \frac{W_B}{(W - W_0)} \quad (3)$$

где W_B – суммарное количество влаги, которое выделяют животные, г/ч;

W - абсолютная влажность воздуха внутри помещения при 5°С, равная 5,4 г/м³;

W_0 - абсолютная влажность атмосферного воздуха, г/м³.

Далее, используя значения максимальной потребляемой мощности в течение самой холодной недели за рабочий период функционирования зимовника пасечного хозяйства, определим коэффициент загрузки по номинальной мощности. Формула для расчета коэффициента загрузки технико-технологической системы на базе каталитического устройства сжигания биогенных топлив имеет вид:

(4)

где η – коэффициент загрузки по номинальной мощности;

Q_{\max} – максимальная загрузка системы теплоснабжения за шаг моделирования;

N – установленная мощность технико-технологической системы;

Материалоемкость, как критерий эффективности технико-технологической системы на базе каталитического устройства сжигания биогенных топлив, можно определить с помощью формулы:

(5)

где m – материалоемкость;

M – масса технико-технологической системы;

P – генерируемая тепловая мощность технико-технологической системы;

Вывод: Опираясь на выше описанные зависимости можно дать оценку эффективности функционирования технико-технологической системы на базе каталитических устройств для теплоснабжения пасечного комплекса, в частности для поддержания нормируемого теплового режима в зимовнике.

Критерии эффективности технологических параметров системы теплоснабжения лесного комплекса

Эффективность системы теплоснабжения технологической линии по производству сухой топливной щепы с энергоснабжением от силовой

установки на основе двигателя внешнего сгорания определяется коэффициентом тепловых потерь в окружающую среду. Рассматриваемым объектом теплоснабжения является накопительный контейнер, выполняющий функции конвективной сушилки щепы. Так как теплоснабжение осуществляется от источника вторичной теплоты - тепловых выбросов двигателя Стирлинга, определяющим потерю параметром является тепловая мощность не участвующая в процессе сушки, что следует из уравнения теплового баланса процесса.

Потери тепловой энергии состоят из потерь теплопередачей в окружающую среду через наружные стенки сушилки и потерь через не плотности. Примем потери утечек сушильного агента через не плотности контейнера за 10% от потерь теплопередачей через стенку, тогда общие потери определяются по формуле (6):

$$Q_{\text{пот}} = (1,1 \cdot (t_{\text{с.а. ср.}} - t_{\text{окр}}) \cdot A_{\text{ст}}) / ((1/\alpha_{\text{вн.ст.}}) + \delta_{\text{ст1}}/(\lambda_{\text{ст1}} + \delta_{\text{ст2}}/(\lambda_{\text{ст2}} + 1/\alpha_{\text{нар.ст.}}))) \quad (6)$$

где 1,1 – коэффициент учитывающий тепловые потери в контейнере – сушилке, $\alpha_{\text{вн.ст.}}$ и $\alpha_{\text{нар.ст.}}$ - коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей стенок сушилки, Вт/(м²·°C), $\delta_{\text{ст1}} = 3$ мм и $\delta_{\text{ст2}}$ - толщина слоев наружных стенок сушилки - металла и слоя

теплоизоляционной краски соответственно, $\lambda_{\text{ст1}} = 67$ Вт/м°C и $\lambda_{\text{ст2}} = 0,0012$ Вт/м°C - коэффициент теплопроводности слоев наружных стенок – металлической стенки и слоя теплоизоляционной краски соответственно.

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{нар.ст.}}$ наружной поверхности стенок сушилки зависит от условий конвективного теплообмена и теплового излучения и определяется по формуле (7):

$$\alpha_{\text{нар.ст.}} = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{и}} \quad (7)$$

где α_K - коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\alpha_{и}$ - коэффициент теплоотдачи излучением.

Значение α_K определяется по формуле Франка (8):

$$\alpha_K = 7,74 \cdot v^{0,656} + 3,78 \cdot e^{-1,91v} \quad (8)$$

где v - скорость ветра.

Значение $\alpha_{и}$ определяется по формуле (9):

(9)

где $\epsilon = 4,96 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ - коэффициент излучения окрашенной поверхности наружной стенки, $t_{нар.ст.}$ - температура наружной поверхности стенки сушилки; $t_{в}$ — температура наружного воздуха.

Коэффициент потерь находится как отношение тепловых потерь в контейнере-сушилке к располагаемой тепловой мощности от системы охлаждения и уходящих газов двигателя Стирлинга по формуле(10):

(10)

где $Q_{пот}$ - тепловые потери в контейнере-сушилке в окружающую среду находятся по формуле (6), $Q_{расп}$ - располагаемой тепловой мощность.

Вывод: При определении эффективности функционирования технологической линий по производству сухой топливной щепы одним из важнейших факторов является коэффициент потерь, который характеризует эффективность конструктивных решений контейнера-сушилки и показывает, сколько вторичной тепловой энергии от двигателя Стирлинга было полезно использовано на сушку щепы.

Критерии эффективности технологических параметров системы теплоснабжения тепличного комплекса

Эффективность системы теплоснабжения тепличного комплекса определяется в первую очередь энергетическими параметрами, характеризующими эффективность производства и потребления энергии в рамках комплекса «потребитель-источник».

Для оценки энергетической эффективности является необходимым определение «полезно» использованной энергии. В рамках тепличного комплекса «полезная» энергия – это энергия, непосредственно потребляемая комплексом, которая складывается из тепла, необходимого для поддержания постоянной температуры внутри тепличного комплекса, тепла, необходимого для обеспечения технологического процесса получения биогаза, при этом учитывается тепла, потраченное в процессе транспортировки теплоносителя от источников тепла до потребителя. «Полезная» тепловая энергия, непосредственно потребляемая комплексом, определяется по формуле (11):

(11)

где $Q_{\text{пол}}$ - «полезная» тепловая энергия системы, $Q_{\text{ТепК}}$ - теплота, необходимая тепличному комплексу, $Q_{\text{БГУ}}$ - теплота, необходимая для биогазовых установок, $Q_{\text{Тран}}$ - затраты теплоты на транспортировку теплоносителя.

«Полезная» тепловая энергия характеризует ту энергию, которая была доставлена потребителю, однако для характеристик всей энергии, потребляемой системой требуется другой критерий. Энергопотребление системы, $ЭП$, в течение суток складывается из суточного энергопотребления каждого конкретного источника тепла

(энергопотребление источников тепла непосредственно зависит от «полезной» тепловой энергии) и суточного энергопотребления вспомогательного оборудования, обеспечивающего функционирование системы (циркуляционные насосы, системы автоматического управления), и определяется по формуле (12):

(12)

где $Q_{i-ист}$ - энергопотребление i -го источника тепла, n - число источников тепла, $Q_{j-обор}$ - энергопотребление j -го вспомогательного оборудования, m - количество вспомогательного оборудования.

При этом энергопотребление системы (ЭП) позволяет учесть только преобразованную в процессе производства энергию. Однако общее количество энергии, поступающей в систему до преобразования в требуемую форму, будет определяться с учетом коэффициентов эффективности соответствующего преобразования. При этом эта величина будет носить физический смысл, связанный с валовым поступлении энергии в систему (в виде биогенного топлива, солнечной энергии и др.) и характеризовать валовое энергопотребление системы. Валовое энергопотребление системы, $VЭП$, в течение суток складывается из суточного энергопотребления каждого конкретного источника тепла с учетом коэффициента полезного действия первичных преобразований энергии, либо с четом затрат на их функционирование (с учетом затрат на производство биогаза, с учетом КПД ветроэлектрических установок, КПД фотоэлектрических панелей, КПД солнечного коллектора и т.д.) и суточного энергопотребления вспомогательного оборудования так же с

учетом КПД первичных преобразований энергии, от которых осуществляется питание оборудования, и определяется по формуле (13):

(13)

где - КПД первичных преобразователей возобновляемой энергии, от которых работает i -ый источник тепла, n - число источников тепла, - КПД первичных преобразователей возобновляемой энергии, от которых работает j -ое вспомогательное оборудование, m - количество вспомогательного оборудования, $Q_{\text{биогаз}}$ - энергозатраты на производство биогаза.

Приведенные выше 3 критерия, характеризующие потребление энергии комплексом или системой, являются прямо пропорциональными производительности комплекса. Таким образом, можно оценить только абсолютно энергетическую эффективность комплекса, сравнение комплексов с различной производительностью будет не достоверно. Для обеспечения относительной оценки энергетической эффективности предлагается применять критерий использования валовой энергии в комплексе. Коэффициент использования валовой энергии, $KИВЭ$, позволяющий определить эффективность использования всей энергии, поступающей в систему, является отношением «полезной» тепловой энергии, потребляемой тепличным комплексом, к валовому энергопотреблению системы и определяется по формуле (14):

(14)

Вывод: Таким образом, приведенная совокупность абсолютных и относительных критериев позволяет оценить эффективность использования технико-технологических систем для теплоснабжения тепличного комплекса в зависимости от конструктивных параметров

комплекса и системы теплоснабжения, внешних условий функционирования комплекса и режимов работы тепличного комплекса и системы теплоснабжения.

Критерии эффективности технологических параметров системы теплоснабжения животноводческого комплекса

Параметрами эффективности функционирования технико-технологических систем на базе каталитических устройств сжигания в рамках системы теплоснабжения животноводческого комплекса являются средняя температура внутри животноводческого комплекса, среднее квадратичное отклонение температуры внутри животноводческого комплекса, расхода биогенного топлива на теплоснабжение комплекса. Однако ни один из этих параметров не может быть выбран в отдельности в качестве критерия, характеризующего эффективность функционирования технико-технологических систем на базе каталитических устройств сжигания ввиду того, что описывают определённую физическую сторону процессов передачи теплоты животноводческому комплексу.

Представленные параметры позволяют составить комплексные критерии эффективности функционирования технико-технологических систем на базе каталитических устройств сжигания в рамках системы теплоснабжения, максимально полно характеризующие особенности их работы. Для этого охарактеризуем эффективность работы технико-технологических систем на базе каталитических устройств сжигания с помощью параметра «средняя температура внутри животноводческого комплекса». Наиболее эффективный режим функционирования технико-технологической системы, описываемый с помощью принятых двух параметров, будет характеризовать минимальное отклонение средней температуры внутри животноводческого комплекса от оптимальной. В

рамках критерия (при условии минимума критерия) это условие можно записать следующим образом:

(15)

условие критерий.

Охарактеризуем эффективность работы технико-технологической системы с помощью другого параметра «расход биогенного топлива на теплоснабжение комплекса». Наиболее эффективный режим функционирования технико-технологической, описываемый с помощью выбранного параметра, будет характеризовать минимальным расходом биогенного топлива на теплоснабжение комплекса. В рамках критерия (при условии минимума критерия) это условие можно записать следующим образом:

(16)

условие критерий.

Охарактеризуем эффективность работы технико-технологической системы с помощью совокупности параметров: «средняя температура внутри животноводческого комплекса», «среднее квадратичное отклонение температуры внутри животноводческого комплекса». Наиболее эффективный режим функционирования технико-технологической, описываемый с помощью выбранных параметров, будет характеризовать минимальное отклонение средней температуры внутри животноводческого комплекса от оптимальной и минимальным значением среднего квадратичного отклонения температуры внутри

животноводческого комплекса. В рамках критерия (при условии минимума критерия) эти условия можно записать следующим образом:

(17)

условие критерий,

где W_1 – весовой коэффициент отклонения температуры от оптимальной, W_2 – весовой коэффициент среднего квадратичного отклонения.

В данном случае особое внимание стоит уделить использованию весовых коэффициентов W_1 и W_2 , которое обусловлено необходимостью описания значимости отдельных элементов комплексного критерия. Использование весовых коэффициентов позволяет обеспечить соотношение различных параметров эффективности друг с другом путем соотнесения их фактических числовых значений и значимости при оптимизации. Значимость составляющих критерия может быть получена путем экспертных оценок.

Охарактеризуем эффективность работы технико-технологической системы с помощью совокупности параметров: «средняя температура внутри животноводческого комплекса», «расход биогенного топлива на теплоснабжение комплекса». Наиболее эффективный режим функционирования технико-технологической, описываемый с помощью выбранных параметров, будет характеризовать минимальное отклонение средней температуры внутри животноводческого комплекса от оптимальной и минимальным значением расхода биогенного топлива на теплоснабжение комплекса. В рамках критерия (при условии минимума критерия) эти условия можно записать следующим образом:

(18)

$$K \rightarrow \text{Min}$$

условие критерий Δ ,

где W_1 – весовой коэффициент отклонения температуры от оптимальной, W_2 – весовой коэффициент расхода биогенного топлива на теплоснабжение комплекса.

Для того, чтобы учесть влияние всех показателей эффективности («средняя температура внутри животноводческого комплекса», «среднее квадратичное отклонение температуры внутри животноводческого комплекса», «расход биогенного топлива на теплоснабжение комплекса») в рамках одного критерия, составим комплексный критерий (при условии минимума критерия):

$$+(\text{Расх. биоген. топ.}) \cdot W_3$$

(19)

условие критерий,

где W_1 – весовой коэффициент отклонения температуры от оптимальной, W_2 – весовой коэффициент среднего квадратичного отклонения, W_3 – весовой коэффициент расхода биогенного топлива на теплоснабжение комплекса.

Вывод: Таким образом, полученные критерии эффективности функционирования технико-технологических систем на базе каталитических устройств для теплоснабжения животноводческого комплекса в совокупности с регрессионными моделями могут быть использованы при оптимизации технологических параметров технико-технологической системы.

Библиографический список

1. Онучин Е.М. Нестационарные каталитические системы для утилизации биогаза / Е.М. Онучин, А.А. Медяков, А.Д. Каменских, П.Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(78). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/46.pdf>.

2. Онучин Е.М. Повышение эффективности разрабатываемых каталитических систем для утилизации биогаза / Е.М. Онучин, А.А. Медяков, А.Д. Каменских, П.Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(78). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/47.pdf>.

3. Медяков А.А. Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза / Медяков А.А., Каменских А.Д. // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. - 2011. - № 3. – С. 88-94.

4. Медяков А.А. Инфракрасные обогреватели с нестационарным каталитическим наполнителем / А.А. Медяков, Е.М. Онучин, А.Д. Каменских // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №05(89). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/84.pdf>.

5. Сидыганов Ю. Н. Математическое моделирование процессов функционирования каталитического подогревателя при обогреве биореактора анаэробного сбраживания органических отходов / Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д.В. Костромин, А. А. Медяков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - №25. – С. 231-237.

6. Онучин Е. М. Вычислительный эксперимент работы каталитического подогревателя при обогреве биореактора анаэробного сбраживания органических отходов / Е. М. Онучин, Д. В. Костромин, Ю. Н. Сидыганов, А. А. Медяков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - № 25. – С.250-256.

7. Сидыганов Ю. Н. Результаты математического моделирования процессов теплового перемешивания при анаэробном сбраживании органических отходов /

<http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/32.pdf>

Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д. В. Костромин, А. А. Медяков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - № 24. – С. 332-338.

8. Сидыгнов Ю. Н. Экспериментальный стенд для исследования процессов каталитического обогрева и перемешивания субстрата при анаэробном сбраживании / Ю. Н. Сидыганов, Е. М. Онучин, Д. В. Костромин, А. А. Медяков, Р. В. Яблонский // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - № 24. – С. 348-355.

9. Сидыганов, Ю. Н. Результаты экспериментальных исследований биогазовой установки с системой барботажного перемешивания / Ю. Н. Сидыганов, Д. Н. Шамшуров, Д. В. Костромин, Д. В. Бутусов, А. В. Феоктистов // Известия СПбГАУ. – 2010. – №20. – с. 299-303.

References

1. Onuchin E.M. Nestacionarnye kataliticheskie sistemy dlja utilizacii biogaza / E.M. Onuchin, A.A. Medjakov, A.D. Kamenskih, P.N. Anisimov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №04(78). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/46.pdf>.

2. Onuchin E.M. Povyszenie jeffektivnosti razrabatyvaemyh kataliticheskikh sistem dlja utilizacii biogaza / E.M. Onuchin, A.A. Medjakov, A.D. Kamenskih, P.N. Anisimov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №04(78). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/47.pdf>.

3. Medjakov A.A. Razrabotka novyh kataliticheskikh sistem dlja processov poluchenija biogaza / Medjakov A.A., Kamenskih A.D. // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie. - 2011. - № 3. – S. 88-94.

4. Medjakov A.A. Infrakrasnye obogrevateli s nestacionarnym kataliticheskim napolnitelem / A.A. Medjakov, E.M. Onuchin, A.D. Kamenskih // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №05(89). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/84.pdf>.

5. Sidyganov Ju. N. Matematicheskoe modelirovanie processov funkcionirovanija kataliticheskogo podogrevatelja pri obogreve bioreaktoraanajerobnogo sbrazhivaniija organicheskikh othodov / Ju. N. Sidyganov, E. M. Onuchin, D.V. Kostromin, A. A. Medjakov // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. - №25. – S. 231-237.

6. Onuchin E. M. Vychislitel'nyj jeksperiment raboty kataliticheskogo podogrevatelja pri obogreve bioreaktora anajerobnogo sbrazhivaniija organicheskikh othodov / E. M. Onuchin, D. V. Kostromin, Ju. N. Sidyganov, A. A. Medjakov// Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. - № 25. – S.250-256.

7. Sidyganov Ju. N. Rezul'taty matematicheskogo modelirovanija processov teplovogo peremeshivaniija pri anajerobnom sbrazhivaniija organicheskikh othodov / Ju. N. Sidyganov, E. M. Onuchin, D. V. Kostromin, A. A. Medjakov // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. - № 24. – S. 332-338.

8. Sidygnov Ju. N. Jeksperimental'nyj stend dlja issledovaniija processov kataliticheskogo obogreva i peremeshivaniija substrata pri anajerobnom sbrazhivaniija / Ju. N. Sidyganov, E. M. Onuchin, D. V. Kostromin, A. A. Medjakov, R. V. Jablonskij // Izvestija

Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. - № 24. – S. 348-355.

9. Sidyganov, Ju. N. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij biogazovoj ustanovki s sistemoj barbotazhnogo peremeshivaniya / Ju. N. Sidyganov, D. N. Shamshurov, D. V. Kostromin, D. V. Butusov, A. V. Feoktistov // Izvestija SPbGAU. – 2010. – №20. – s. 299-303.